УДК 629.782.001.5(045)

Климова А.С., канд. техн. наук

ВЕКТОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ВИГЛЯДУ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНОЇ СХЕМИ КОМПРОМІСІВ

Інститут комп'ютерних технологій
Національного авіаційного університету

Розглядається алгоритм розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації характеристик системи з використанням нелінійної схеми компромісів для вибору єдиного компромісно-оптимального рішення

Постановка проблеми в загальному виді

Задача векторної оптимізації технічного вигляду (ТВ) авіаційно-космічної системи (АКС) є завданням багатокритеріального параметричного синтезу [1, 2] і полягає у визначенні оптимальних значень тактико-технічних характеристик (ТТХ) системи (аргументів оптимізації), який оцінюється вектором часткових критеріїв. Ускладнення розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації ТТХ АКС обумовлено тим, що до теперішнього часу недостатньо розвинений алгоритмічний і програмно-математичний апарат багатокритеріального параметричного синтезу при реалізації заданих цільових програм створення і застосування АКС. Отже, найбільш важливими напрямами підвищення ефективності проведення наукових досліджень перспективних космічних систем є удосконалення існуючих підходів та засобів забезпечення параметричного синтезу АКС на основі багатокритеріальної оптимізації і математичного моделювання.

Рішення задачі багатокритеріального параметричного синтезу АКС припускає на першому етапі виділення області ефективних варіантів системи (множини Парето), для яких нема програшу (в певному прийнятому сенсі) ні по одному з часткових критеріїв [2].

На другому етапі здійснюється вибір з множини Парето єдиного оптимального варіанта побудови АКС. Єдиний остаточний варіант побудови АКС по своїй природі є компромісним і базується на використанні схеми компромісів, яка формулюється на основі додаткової суб'єктивної інформації від особи, яка приймає рішення (ОПР) і відповідає цілі, яка стоїть перед ним з урахуванням заданої ситуації.

Тобто вибір єдиної компромісно-оптимальної сукупності ТТХ АКС покладається на суб'єкт досліджень і в значній мірі залежить від вдалого вибору схеми компромісів і обґрунтованості ступенем важливості (ваги) часткових критеріїв [2].

Аналіз публікацій і досліджень

Аналіз праць [1 – 6] показує, що для рішення задачі багатокритеріального параметричного синтезу АКС відомі різні методи і підходи. Для формування множини Парето, наприклад, у [6] розглядається метод перетинання поверхонь, у [2] оптимальні за Парето рішення виділяються з нормалізованого простору критеріїв у результаті рішення задачі параметричного програмування.

Вибір методу для виділення єдиного оптимального рішення задачі векторної оптимізації залежить від додаткової суб'єктивної інформації про відносну важливість часткових критеріїв в заданій ситуації. Якщо такої інформації немає взагалі, у [3, 4] пропонується обмежитися пошуком будь-якого рішення, що забезпечує виконання заданих умов (обмежень). У цьому випадку отримане рішення часто виявляється грубим і не є оптимальним за Парето [5, 6]. Різновидом такого підходу є широко поширений прийом, коли для оптимізації із сукупності часткових критеріїв вибирається лише один (наприклад, перший), а інші критерії переводяться в розряд обмежень. У цьому випадку вихідна багатокритеріальна задача штучно підміняється однокритеріальною з обмеженнями [2]. Отримане рішення зазвичай виявляється або поза множиною Парето, або на її межі. Можливості створюваної системи, наприклад АКС, в даному випадку не можуть бути використані в повній мірі [1]. Більш коректний спосіб роз’язання багатокритеріальної задачі полягає у виборі будь-якого рішення з множини Парето. Таке рішення є компромісно-оптимальним, але може виявитися незбалансованим (з точки зору конкретного ОПР) для окремих часткових критеріїв створюваної системи [2]. Для вирішення цьей проблеми єдиний компромісно-оптимальний варіант побудови АКС, що задовольняє векторному критерію, виділяється з використанням схеми компромісів - узагальненої функції скалярної згортки часткових критеріїв.

Отримав інформацію від ОПР та обрав схему компромісів, переходять від загального векторного виразу до скалярної згортки часткових критеріїв. Математична модель розв’язання задачі векторної оптимізації (у випадку мінімізації функції узагальненого критерію) при використанні способу скалярної згортки представляється у вигляді

$$y' = \underset{y \in Y}{argmin} F_{узаг}\left[f(y)\right],\ y' \in Y^{K} \qquad (1)$$

де $F_{узаг}[f(y)]$ – узагальнений критерій;

$y = \{y_j\}_{j=1}^{n},\ y \in Y^{Д}$ – аргументи (параметри) оптимізації;

$f(y) = \{f_k(y)\}_{k=1}^{m}$ – критерії оптимізації;

y' – вектор компромиссно-оптимальных значений параметров.

Для формування функції $F_{узаг}[f(y)]$ в роботі використовується нелінійна схема компромісів

$$F_{узаг}[f(y)] = \sum_{k=1}^{m} \alpha_k (1 - f_k^0(y))^{-1},$$

$$\sum_{k=1}^{m} \alpha_k = 1,\ \alpha_k \geq 0, \qquad (2)$$

де $f_k^0(y)$ – нормалізоване значення k-го критерію; $\alpha_k,\ k \in \lfloor 1,\ m \rfloor$ – коефіцієнти важливості критеріїв.

Умовами застосування нелінійної схеми компромісів у випадку мінімізації функції $F_{узаг}[f(y)]$ є:

1) $0 < f_k^0(y) \leq 1;\ \forall k \in [1;m]$;

2) $f_k^0(y) \to \min_{y \in Y}$.

Переконаємося, що нелінійна схема компромісів дає оптимальні за Парето рішення, тобто вектор y', що доставляє мінімум функції $F_{узаг}[f(y)]$ належить множині оптимальних за Парето рішень Y^K. Це означає, що не існує вектора $y \in Y$ такого, що $f_k(y) \leq f_k(y'),\ k = \overline{1,m}$, причому хоча б одне з нерівностей є суворим.

Припустимо, що це не так, тобто вектор y' не належить множині Y^K, тоді існує вектор θ такий, що $f_k(\theta) \leq f_k(y'),\ k = \overline{1,m}$, причому деякі з цих нерівностей є суворими. Але тоді

$$F(\theta) = \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \cdot \left(1 - f_k^0(\theta)\right)^{-1} < \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \cdot \left(1 - f_k^0(V)\right)^{-1}.$$

Це означає, що вектор y' не доставляє мінімум функції $F_{узаг}[f(y)]$. Дане протиріччя доводить, що отримане з використанням нелінійної схемою компромісів рішення задачі векторної оптимізації є оптимальним за Парето.

Згортка (2) дає можливість отримати формалізовані Парето - оптимальні рішення, адекватні заданих ситуацій. Одержуване рішення оптимізаційних задач залежить від конкретної ситуації і тому згортка нелінійна.

Мета роботи

У дійсній статті, розглянуто розв’язання задачі багатокритеріального параметричного синтезу ТВ АКС на етапі вибору єдиного компромісно-оптимального рішення з використанням нелінійної схеми компромісів при двох критеріях якості.

Постановка двухкритериальной задачі оптимізації характеристик авіаційно-космічної системи

Постановка багатокритеріальної задачі оптимізації ТТХ АКС в спрощеному виді полягає в наступному. На початковому етапі побудови концепції система задається певним набором ТТХ $y = \{ y_j \}_{j=1}^{n}$, де $y \in Y^{Д}$ – вектор концептуальних параметрів АКС.

Передбачається, що функціювання системи залежить тільки від цих параметрів. Для кожного параметра задаються обмеження у вигляді нерівностей

$$\alpha_{jH} \le y_j \le \alpha_{jB}, \quad j = \overline{1,q} \qquad (3)$$

де α_{jH}, α_{jB} – відповідно допустимі нижня і верхня межі зміни числового значення j-го параметра. Перетини заданих меж утворюють допустиму область $Y^Д$.

Якість ухвалюваного рішення (ТТХ АКС) оцінюється за допомогою двох суперечливих часткових критеріїв

$$f(y) = \{ f_k(y) \}_{k=1}^{2} \in H. \qquad (4)$$

Критерії $f_1(y)$ и $f_2(y)$ є рівноцінними, мають бути позитивними і вимагають мінімізації. Потрібно визначити компромиссно-оптимальний набір (вектор) ТТХ системи $y' \in Y^K$, який оптимізує (у певному сенсі) вектор часткових критеріїв (4) при відомих обмеженнях (3).

Результати досліджень і обґрунтування отриманих результатів

На першому етапі роз'вязання задачі обчислюються координати точок простору параметрів $A_1, A_2, \ldots, A_N$, кордонами якого є кордони області перетину (спільна область) допустимих значень аргументів (ТТХ) функцій часткових критеріїв. У загальному випадку, область повинна бути однією для всіх часткових критеріїв. Допустимі значення (діапазони зміни) натуральних значень ТТХ задаються в технічному завданні на проектування АКС у вигляді нижньої α_{jH} і верхньої α_{jB} межі зміни значення j - го аргументу оптимізації. Кожна точка цього простору представляє пробну точку A_i з координатами $(y_{i1}, y_{i2}, \ldots, y_{in})$ в n-мірному просторі параметрів і кожної з них конкретний вектор значень ТТХ АКС.

Використовуючи значення координат точок A_i, за моделями $f_1(y)$ і $f_2(y)$ розраховуються координати точок у просторі критеріїв. Тобто кожна пробна точка A_i простору параметрів відображається у точку простору критеріїв в натуральних значеннях. Множина оптимальних за Парето (компромісно-оптимальних) рішень формується шляхом порівняння значень $f_k(A_i)$ в різних точках простору критеріїв. Згідно [1, 2] таке порівняння можливе тільки в нормалізованому (безрозмірному) просторі критеріїв.

В припущенні, що значення часткових критеріїв суворо позитивні $f_k(y) > 0$ їх значення приводяться до безрозмірної шкали з діапазону [0; 1] і утворюють точки нормалізованого простору критеріїв. У [2, 5, 6] розглянуто різні методи для нормалізації простору критеріїв. Використовуючі один з методів для множини пробних точок $A_1, A_2, \ldots, A_N$ формується множина точок нормалізованого простору критеріїв $f_k^0(A_1), f_k^0(A_2), \ldots, f_k^0(A_N)$.

На наступному етапі в результаті порівняння (за векторним критерієм) зі всієї множини точок нормалізованого простору виділяються ефективні точки множини Парето. Точки знаходяться шляхом вирішення задачі параметричного програмування.

$$Y^K = \bigcup_{\alpha \in X_\alpha} \underset{y \in Y}{argmin} \left(\alpha_1 * f_1^0(y) + \alpha_2 * f_2^0(y) \right)$$

$$X_\alpha = \left\{ \alpha \,\middle|\, \sum_{k=1}^{2} \alpha_k = 1,\ \alpha_k \ge 0 \right\}.$$

Кожній точці множини Парето ставиться у відповідність значення координат відповідної точки ненормованого простору критеріїв, а також відповідні координати точки простору параметрів (ТТХ АКС).

Вибір єдиного компромісно-оптимального рішення з використанням нелінійної схеми компромісів при різних поєднаннях вагових коефіцієнтів важливості критеріїв виконується шляхом розрахунку в усіх точках значень $F_{i\ узаг}[f(y)]$ і пошуку мінімального її значення. Значення $F_{i\ узаг}[f(y)]$ отримують за формулою

$$F_{i\ узаг}\left[f\left(y\right)\right] = 0.5 * \left(1 - f_{i1}^{0}\left(y\right)\right)^{-1} + \left(1 - 0.5\right) * \left(1 - f_{i2}^{0}(y)\right)^{-1},$$

де $f_{i1}^{0}(y), f_{i2}^{0}(y)$ – нормовані значення функцій часткових критеріїв в i - й точці.

На цьому етапі вирішується задача пошуку точки A' такої, що

$$F_{узаг}(A') = \min_{A \in Y^{Д}} F_{узаг}(A').$$

Можна скористатися будь-яким методом локального пошуку екстремуму, вибираючи в якості початкових точок пошуку всі точки $A_i \in Y^{Д}$.

Знайденій точці A' нормованого простору критеріїв ставиться у відповідність точка ненормованого простору критеріїв, а також відповідна точка простору параметрів. Значення координат точки простору параметрів визначають єдиний компромісно-оптимальний вектор значень ТТХ (варіант побудови) АКС для заданого поєднання коефіцієнтів важливості критеріїв. Таким ж чином можна знайти точки мінімуму $F_{узаг}[f(y)]$ в нормованому просторі критеріїв для довільно-заданого поєднання коефіцієнтів важливості критеріїв, а потім відповідно цьому поєднанню єдиний вектор значень ТТХ АКС, задовольняючий векторному критерію $f(y)$.

Отримані результати дозволяють виконати експертну оцінку і вибрати єдиний переважний компромісно-оптимальний варіант АКС при різних поєднаннях коефіцієнтів важливості критеріїв.

В результаті експертної оцінки ОПР вибирається найкращий вектор значень ТТХ, що визначає остаточний компромісно-оптимальний варіант побудови АКС, що задовольняє двом критеріям.

Висновки

За допомогою одержаних результатів можливо зробити вибір єдиного переважного компромісно-оптимального варіанта АКС на основі суб'єктивної інформації про відносну важливість часткових критеріїв з використанням нелінійної схеми компромісів.

Одержані результати досліджень забезпечують подальший розвиток програмно-алгоритмічного забезпечення векторної оптимізації основних ТТХ АКС з використанням множини Парето і нелінійної схеми компромісів.

Список літератури

1. *Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Марченко А.В., Осташевский В.В.* Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / Монография. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.

2. *Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К, Козлов О.І., Чабанюк В.С.* Векторна оптимізація динамічних систем – К.: Техніка, 1999. – 284с.

3. *Антушев Г.С.* Методы параметрического синтеза сложных технических систем. – М.: Наука, 1989. – 88 с.

4. *Сиразетдинов Т.К.* Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. – М.: Машиностроение, 1988. – 160 с.

5. *Соболь И.М., Статников Р.Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах с многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 110 с.

6. *Зіатдинов Ю.К., Климова А.С.* Метод формування оптимальних проектних параметрів складних технічних систем // Вісник НАУ. – 2005. – №3. – С. 85–90.